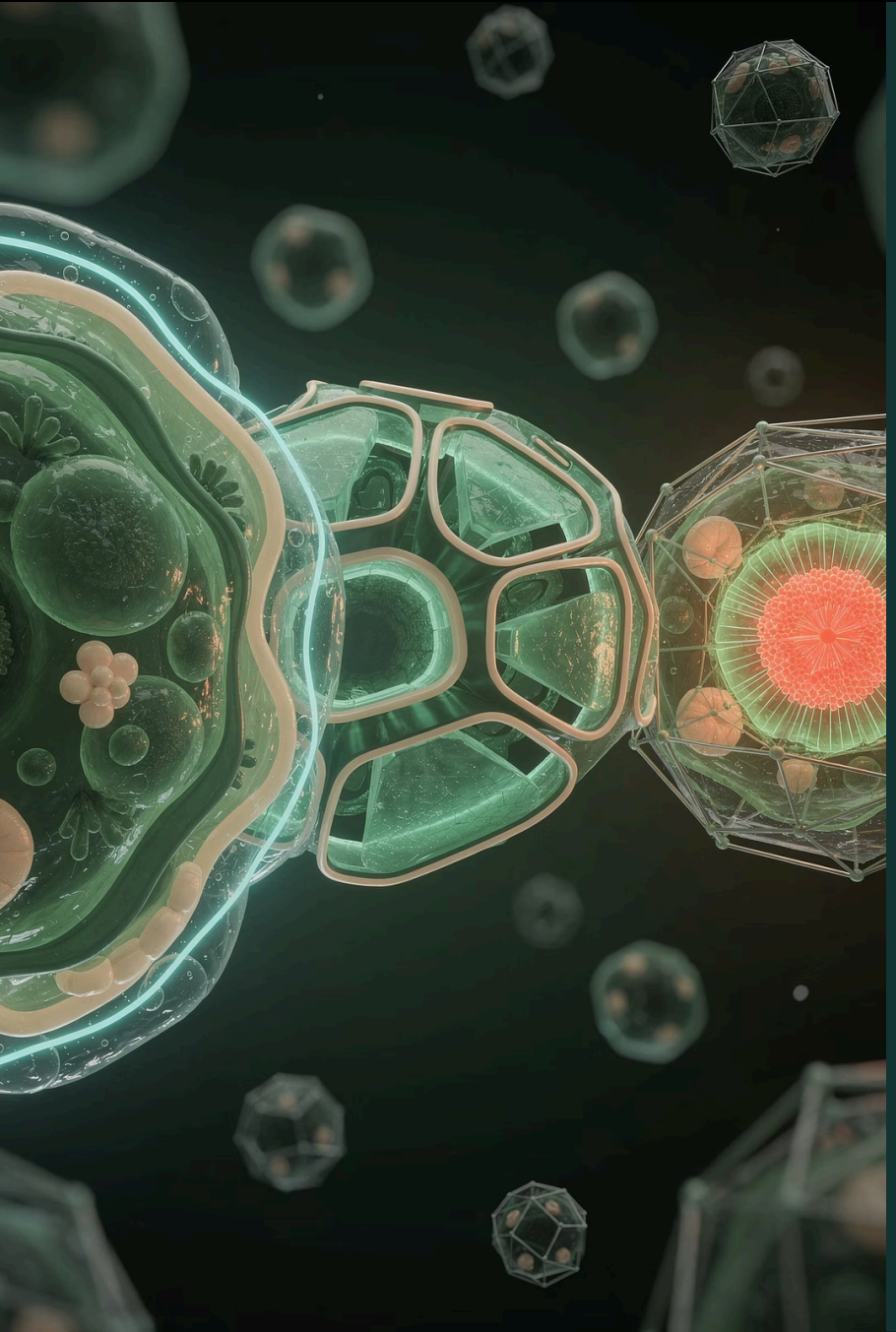


# Canlılık Aleminin Üç Temel Tasarımı: Bakteriler, Arkeler ve Ökaryotlar

Ders Sunumu

TERADİĞMA

# Üç Domen Sistemi: Canlılığın Temel Mimarisi

Canlı organizmaların sınıflandırılmasında **Üç Domen Sistemi** esas alınır: Bakteriler, Arkeler ve Ökaryotlar.

### Temel Ayrım

Bu üç grup, canlılığın en temel ve en derin ayrımını temsil eder

### Keskin Sınırlar

Hücresel mimari ve biyokimyasal işleyiş düzeyinde birbirinden keskin hatlarla ayrılır

### Özgün Kimlik

Her biri kendi içinde tutarlı, özgün bir biyokimyasal kimliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır

# Merkezi Soru

Bu üç temel mimari planın varlığı, canlılığın kökeni hakkında ne söyler?

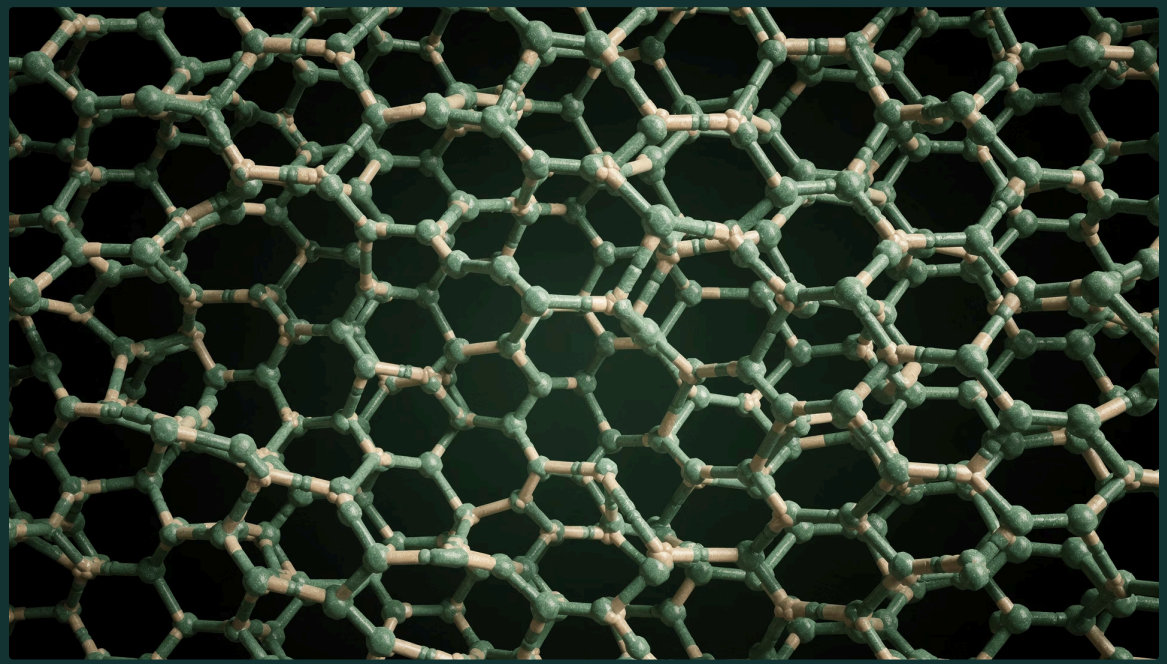
### Hayat Ağacı Modeli

Tek bir ortak atadan dallanan "hayat ağacı" modeli mi?

### Bağımsız Tasarım

Yoksa bağımsız olarak tasarlanmış temel planlar mı?

> Bilimsel veriler ve akli muhakeme, bu soruyu birlikte ele almamızı zorunlu kılmaktadır.



# Bakteriler: Peptidoglikan Mimarisi

Bakteriyel hücre duvarının temel bileşeni **peptidoglikan**dır.

- N-asetilglukozamin ve N-asetilmuramik asit şekerlerinden zincirler; bu zincirleri kilitleyen kısa peptit bağlarıyla çapraz bir ağ oluşturulmuştur
- Gram-pozitif bakterilerde kalın peptidoglikan tabakası zarın hemen dışında; Gram-negatif bakterilerde ince tabaka iç ve dış zar arasında konumlandırılmıştır
- Bu yapı hücreye hem mekanik destek hem de iç ozmotik basınca karşı koruma sağlayacak biçimde kurgulanmıştır

# Bakteriler: Zar Kimyası ve Genomu

Bakteriyel hücre zarı, **ester bağları** ile gliserole bağlanmış dallanmamış, düz zincirli yağ asitlerinden oluşan fosfolipit çift tabakasına sahip olacak şekilde inşa edilmiştir.

### Nükleoid Bölgesi

Genetik materyal, zarlı bir çekirdek yerine sitoplazmada "nükleoid" bölgesinde yoğunlaştırılmış tek ve halka şeklinde bir kromozomda depolanır

### 70S Ribozomlar

Ribozomlar **70S** boyutunda olup yapısal olarak diğer iki domenin ribozomlarından farklı tertip edilmiştir

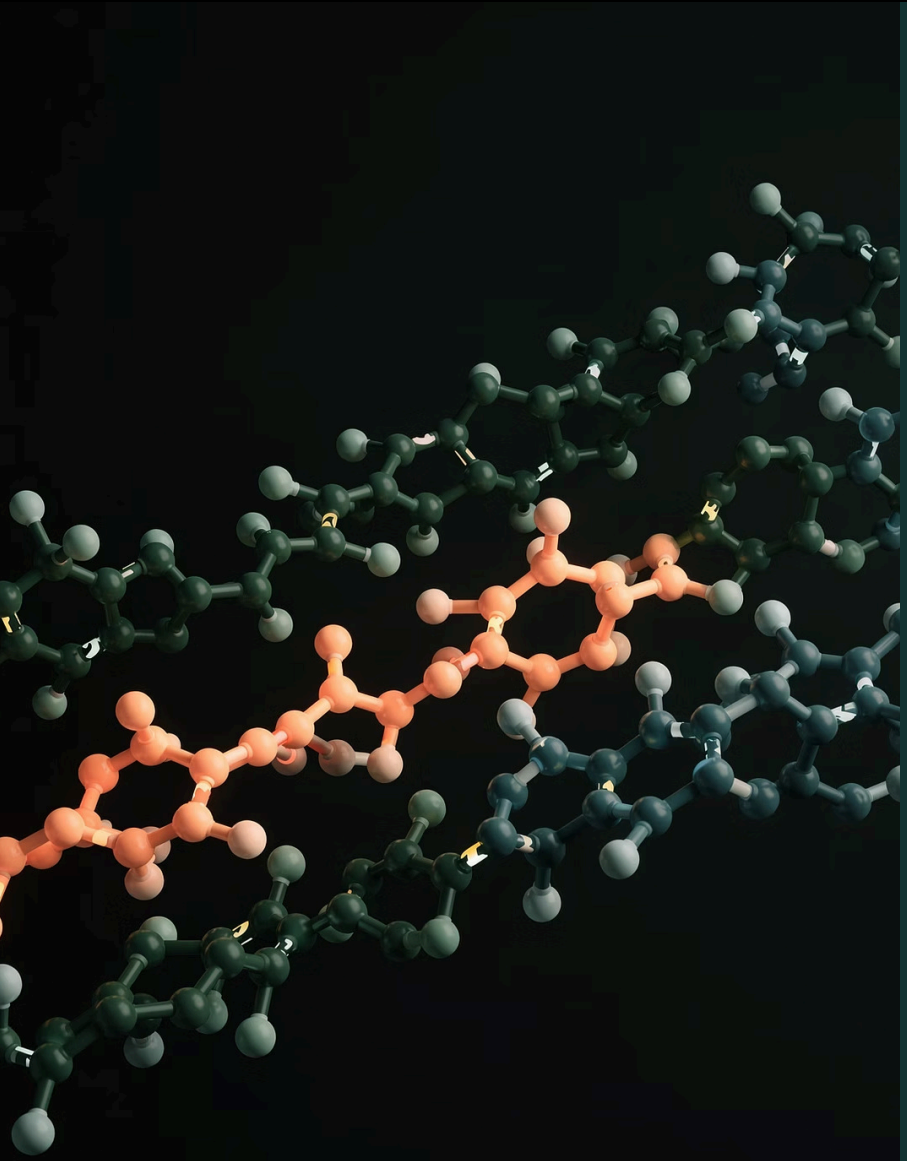
### Düz Zincirli Lipitler

Ester bağları ile gliserole bağlanmış dallanmamış, düz zincirli yağ asitleri fosfolipit çift tabakasını oluşturur

# Arkeler: Peptidoglikan Yokluğu ve Alternatif Duvar Tasarımları

Arkelerin hücre duvarında **peptidoglikan kesinlikle bulunmaz** — bu, onları Bakterilerden ayıran temel yapısal sınırdır.

- Bazı metanojenik arkelerde **psödopeptidoglikan** bulunur: benzer görünümlü ancak farklı şeker ve peptit bağları içerecek şekilde tasarlanmıştır
- Pek çok arke türünde ise kristalize protein/glikoprotein birimlerinden oluşan **S-tabakası** (S-layer) zırh görevi görecek biçimde düzenlenmiştir



# Arkeler: Eter Bağı ve Dallanmış Zincirler

Arke zarı, canlılık alemindeki en özgün kimyasal yapıyla donatılmıştır.

## Eter Bağları

Lipit zincirleri gliserole **ester bağları** yerine **eter bağları** ile tutturulmuştur; eter bağları kimyasal olarak çok daha kararlıdır

## Dallanmış İzoprenoid Zincirleri

Düz zincirli yağ asitleri yerine **dallanmış izoprenoid zincirleri** kullanılmıştır; bu dallanmış yapı aşırı koşullarda zarın bütünlüğünü koruyacak şekilde ayarlanmıştır

# Arkeler: Gliserol Kiralitesi — Aşılamaz Biyokimyasal Sınır

Arkelerdeki en temel farklılık gliserol omurgasının stereo-kimyasında saklıdır.

## Bakteriler ve Ökaryotlar

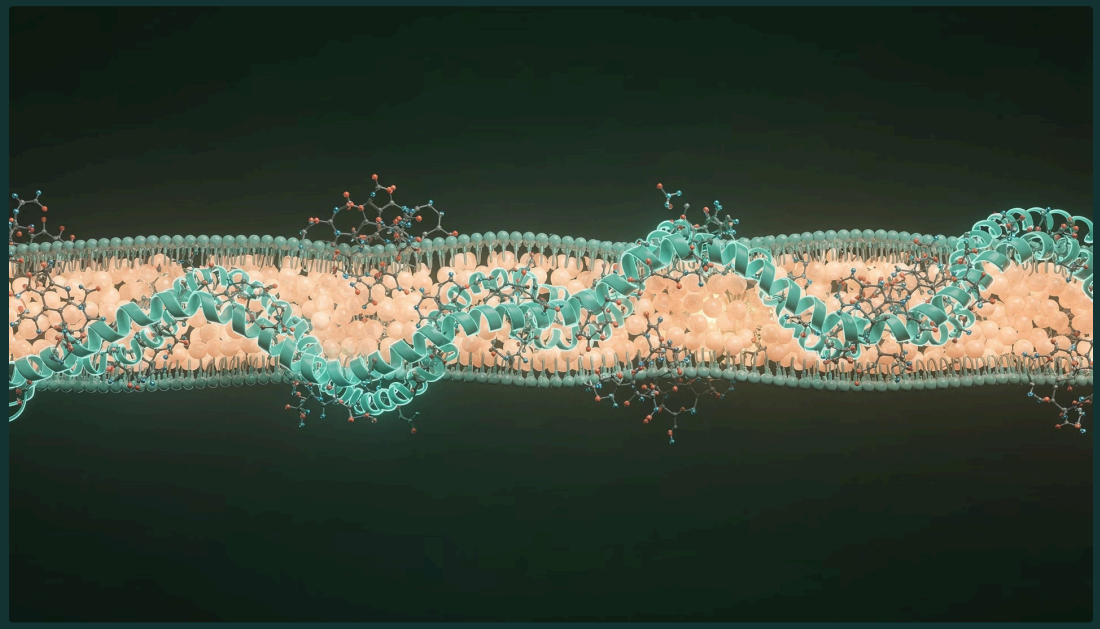
**D-gliserol** (*sn*-gliserol-3-fosfat) kullanır

→ D-gliserol ile çalışan enzimler L-gliserol ile çalışamaz ve tam tersi de geçerlidir

## Arkeler

Bunun ayna görüntüsü olan **L-gliserol** (*sn*-gliserol-1-fosfat) kullanır

→ Bu durum, zar fosfolipitlerinin sentezi için tamamen farklı enzim setlerinin tasarlanmış olduğunu zorunlu kılar



# Arkeler: Monokatman Yapısı ve Genetik İşleyiş

Hipertermofil arkelerde lipit çift tabakası yerine **monokatman** kurgulanmıştır: İki fosfolipidin kuyrukları uç uca birleşerek zarı baştan başa geçen tek bir molekül oluşturur; bu yapı yüksek sıcaklıklarda zarın dağılmasını engeller.

- DNA replikasyonu, transkripsiyon ve translasyon mekanizmaları prokaryotik hücre yapısına karşın **Ökaryotlara benzer** şekilde tasarlanmıştır
- Ribozomlar 70S boyutunda olmakla birlikte, içerdikleri bazı ribozomal proteinler yalnızca Arke ve Ökaryotlarda bulunacak şekilde kodlanmıştır; Bakterilerde bu proteinler yoktur

# Ökaryotlar: Bölümlendirilmiş Karmaşıklık

Ökaryotik hücrenin en belirgin özelliği işlevsel **bölümlendirmedir**.

### Çekirdek

Genetik materyal zarla çevrili bir **çekirdek** içinde korunur

### Zarlı Organeller

Mitokondri, endoplazmik retikulum, Golgi aygıtı ve lizozomlar gibi çok sayıda **zarlı organel** ile donatılmıştır

### Optimize Mimari

Farklı kimyasal reaksiyonların birbirine karışmadan, optimize edilmiş koşullarda yürütülmesine olanak tanıyacak şekilde kurgulanmıştır

# Ökaryotlar: Doğrusal Kromozom ve İntronlar

Ökaryotik DNA, histon proteinlerine sarılarak yoğun biçimde paketlenmiş çok sayıda **doğrusal kromozom** şeklinde organize edilmiştir.

- Genomlarda protein kodlayan bölgeleri (**ekzonlar**) birbirinden ayıran ve RNA'dan kesilip atılması gereken **intronlar** yaygın olarak bulunur
- Ökaryotik ribozomlar **80S** boyutundadır; hem Arkelere hem de Ökaryotlara özgü ek ribozomal proteinler içerir, Bakterilerde bu proteinler yoktur

# Üç Domenin Karşılaştırmalı Özeti

| Özellik | Bakteriler | Arkeler | Ökaryotlar |
|---|---|---|---|
| Çekirdek zarı | Yok | Yok | Var |
| Hücre duvarı | Peptidoglikan | Psödopeptidoglikan / S-tabakası | Selüloz / Kitin |
| Lipit-gliserol bağı | Ester | **Eter** | Ester |
| Gliserol kiralitesi | D-gliserol | **L-gliserol** | D-gliserol |
| Lipit zincirleri | Dallanmamış | **Dallanmış izoprenoid** | Dallanmamış |
| Kromozom | Tek, dairesel | Tek, dairesel | Çoklu, doğrusal |
| Ribozom | 70S | 70S | **80S** |
| Transkripsiyon tipi | Bakteriyel | Ökaryotik benzer | Ökaryotik |

# Filogenetik Uyumsuzluk: Hayat Ağacının Çelişkisi

Evrensel bir hayat ağacı oluşturma çabaları, hangi moleküler verinin kullanıldığına bağlı olarak sürekli birbiriyle çelişen sonuçlar vermektedir.

### rRNA Analizleri

rRNA genlerine dayalı analizler üç domeni ayrı ana dallar olarak gösterirken, farklı protein ailelerine dayalı analizler çoğu kez bu yapıyla çelişen dallanma sıraları ortaya koymaktadır

### Beklenti Çelişkisi

Tüm genler gerçekten tek bir ortak kökene dayanıyorsa, farklı gen setlerinin ısrarla farklı "soyağaçları" anlatması beklenmez

### Sistematik Uyumsuzluk

Bu yaygın ve sistematik uyumsuzluk, modelin temel bir öngörüsünün yanlışlandığına işaret edebilir

# Yetim Genler: Her Türün Özgün Genetik Kimliği

Her yeni canlı türünün genomu dizilendiğinde, genlerin **%10–30 arasındaki bölümünün** bilinen başka hiçbir canlıda homoloğu bulunamamaktadır.

- **Yetim genler** (Orphan Genes) genellikle o türe özgü adaptasyonlarda ve biyolojik süreçlerde işlev görür
- Ortak ata modeli bu genlerin ya tanınmayacak kadar hızlı farklılaşarak ya da *de novo* ortaya çıktığını varsayar; ancak her iki açıklama ciddi teorik zorluklarla karşı karşıyadır
- Bu durum, her canlı grubunun kendine özgü, özel olarak tertip edilmiş bir gen setine sahip olduğu fikrini destekler

# UCA Varsayımının Metodolojik Zafiyeti

Douglas Theobald'ın 2010 tarihli *Nature* makalesinde öne sürülen Evrensel Ortak Ata (UCA) kanıtı temel bir döngüsel mantık içermektedir.

## Hizalama Ön Kabulü

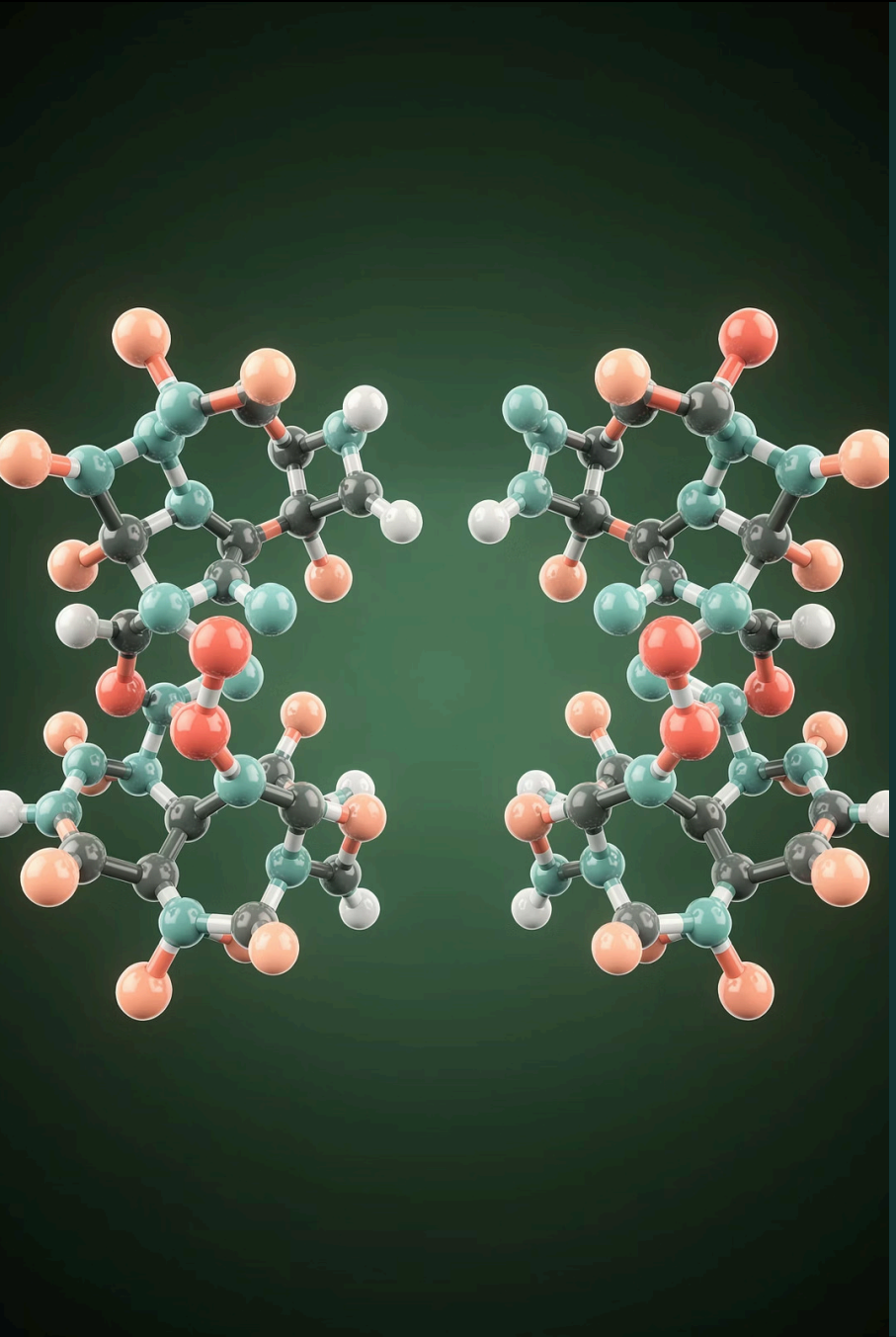
Protein dizilerinin karşılaştırılması için uygulanan **hizalama (alignment)** prosedürü, dizilerin zaten ortak bir atadan geldiği ön kabulüne dayanır

## Döngüsel Muhakeme

Kanıtlanmaya çalışılan şeyi başlangıçta varsaymak **döngüsel muhakeme** hatasıdır

## Yonezawa ve Hasegawa (2012)

Aynı yöntemi aralarında hiçbir ilişki olmadığı bilinen iki protein ailesine uyguladıklarında testin hatalı biçimde "ortak kökeni" desteklediğini göstermiştir



# Arkelerdeki Çift Homokiral Tasarım: Ortak Köken İddiasına Meydan Okuma

Standart kimyasal reaksiyonlar, kiral moleküllerin iki formunu her zaman eşit oranda (%50–%50 rasemik karışım) üretir; oysa canlılıkta mutlak bir saflık zorunlu kılınmıştır.

## Homokiralite Zorunluluğu

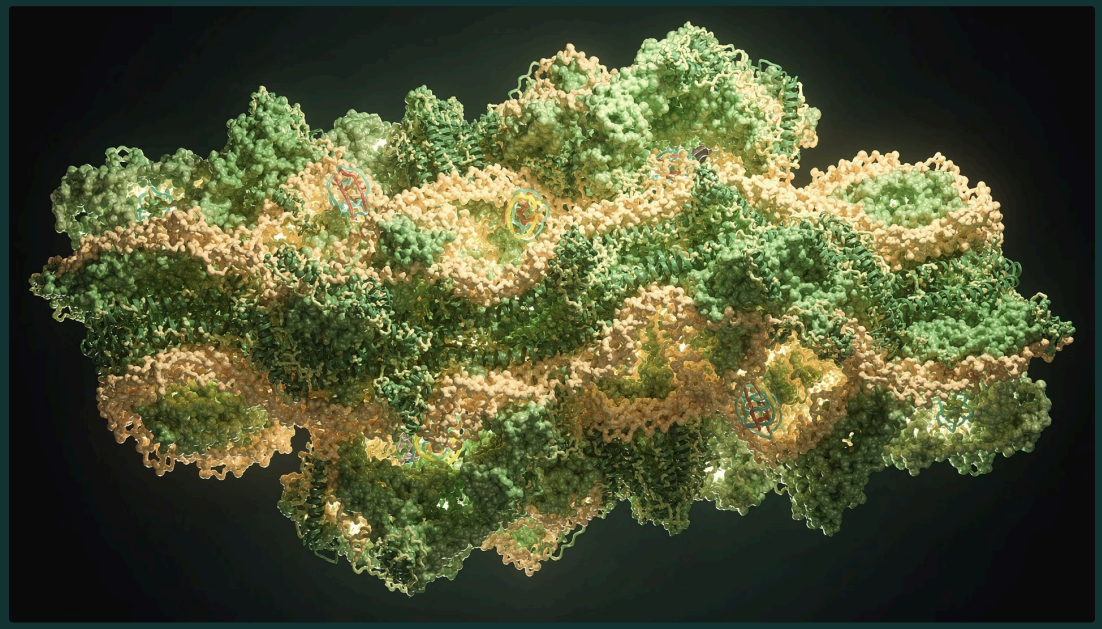
Proteinlerdeki amino asitlerin tamamı sol-elli, DNA/RNA şekerlerinin tamamı sağ-ellidir — bu **homokiralite** olmadan protein katlanması ve DNA sarmalı mümkün değildir

## İki Farklı Sistem

Arkelerde **L-gliserol + eter bağı** sistemi; diğer iki domende ise **D-gliserol + ester bağı** sistemi kullanılır

## Ortak Ataya Meydan Okuma

En az iki farklı ve birbiriyle uyumsuz homokiral sistemin bağımsız olarak kurulmuş olması, tek bir ortak atadan dallanma fikrini daha da zorlaştırmaktadır



# Spliceosome: İndirgenemez Biyomoleküler Makine

Ökaryotik genlerdeki intronların kesilip çıkarılması **spliceosome** adı verilen devasa bir moleküler makine tarafından yürütülür.

- 5 farklı küçük nükleer RNA (snRNA) ve yaklaşık **200 farklı protein** içerir
- Her bir intron üzerinde bu yüzlerce parça hassas bir zamanlama ve koordinasyon içinde bir araya getirilir, kesme-birleştirme reaksiyonları katalizlenir, ardından makine dağılır
- Temel bir bileşen çıkarıldığında tüm sistem işlevsiz kalır; ara formlar herhangi bir işlev avantajı sağlamayacağından bu makinenin kademeli bir süreçle ortaya çıkması mümkün görünmemektedir

# Metanogenez Yolağı: Arkeler'e Özgü Entegre Sistem

Metanogenez, yalnızca Arkeler domeninde programlanmış çok adımlı bir metabolik yoldur.

### Özgün Koenzimler

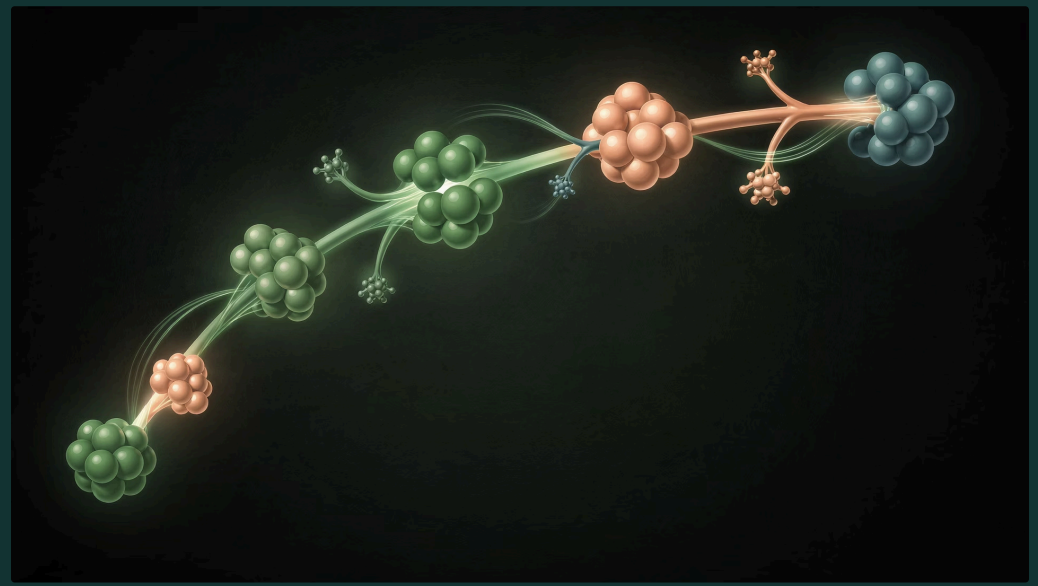
Başka hiçbir canlıda bulunmayan özgün koenzimler (Koenzim M, Faktör 420) gerektirir

### Bütüncül Sistem

Her adımı bir sonrakine hassas biçimde bağlı, bütüncül bir sistem tasarlanmıştır

### İstatistiksel İmkânsızlık

Bu kadar entegre ve özelleşmiş bir yapının tesadüfi adımlarla ortaya çıkması istatistiksel olarak mümkün görünmemektedir



# Kombinatoryal Problem: Fonksiyonel Proteinlerin Astronomik Nadirliği

Douglas Axe'in *Journal of Molecular Biology*'de yayımlanan deneysel çalışması, 150 amino asitlik mütevazı bir protein için işlevsel katlanma oluşturacak dizilimlerin oranını ortaya koymuştur.

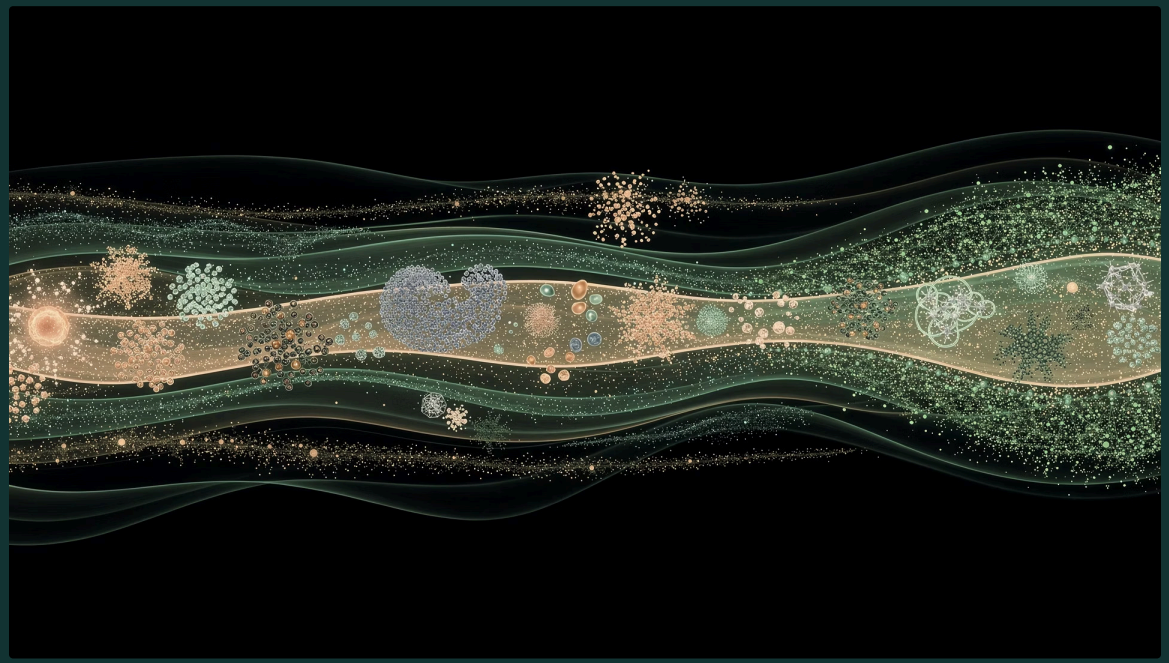
$$P(\text{fonksiyonel katlanma}) \approx \frac{1}{10^{77}}$$

### Astronomik Sekans Uzayı

Olası amino asit dizilimlerinin (sekans uzayının) bu kadar büyük olması, rastgele bir arama sürecinin fonksiyonel bir çözüm bulmasını istatistiksel olarak imkânsız kılar

### Karmaşık Sistemlerde Katlanır Problem

Spliceosome veya metanogenez yolağı gibi yüzlerce parçadan oluşan sistemler için bu sorun katbekat büyür



# Bekleme Süresi Problemi: Zamanın Yetersizliği

Bir biyolojik yapının ortaya çıkması için birden fazla koordineli mutasyonun gerekmesi durumunda, bu mutasyonların bir popülasyonda tesadüfen sabitlenmesi için gereken süre evrenin yaşını aşabilmektedir.

- Behe ve diğer araştırmacıların popülasyon genetiği hesaplamaları, iki veya daha fazla uyumlu mutasyon gerektiren adaptasyonların bile biyolojik olarak gerçekçi popülasyon boyutlarında makul zaman dilimlerinde gerçekleşemeyeceğini gösterir
- Bu problem, indirgenemez karmaşık sistemlerin materyalist mekanizmalarla açıklanmasını tamamen zorlaştırmaktadır

# DNA'daki Bilginin Kökeni: Hammadde ile Sanat Arasındaki Uçurum

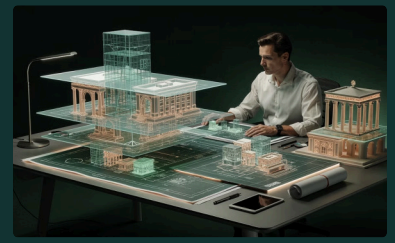
DNA'yı oluşturan nükleotid bazları (A, T, C, G) kendi başlarına anlam veya işlev taşımaz; onlar yalnızca kimyasal **hammaddelerdir**.

## Fizik ve Kimya Kanunları

Fizik ve kimya kanunları bu harflerin nasıl dizileceğini belirlemez — tıpkı kağıt ve mürekkebin üzerlerindeki şiirin içeriğini belirlemediği gibi

## Belirli ve İşlevsel Bilgi

Nükleotidler arasındaki kimyasal bağlar herhangi bir noktada herhangi bir bazın gelmesine izin verir; dizilimdeki **belirli ve işlevsel bilgi** bu hammaddeden kaynaklanmaz



## Bilginin Kaynağı

Tecrübelerimize göre belirli ve işlevsel bilginin tek kaynağı ilim ve güç sahibi bir faildir (Meyer, 2009)

# Sentez: Üç Tasarımın İşaret Ettiği Hakikat

Sunulan bulgular bir bütün olarak değerlendirildiğinde ortaya çıkan tablo şudur:

### Üç Domenin Özgün Yapıları

Bakteriler, Arkeler ve Ökaryotlar arasındaki eter/ester bağı ayrımı, L/D-gliserol kiralitesi, spliceosome ve metanogenez yolağı gibi yapılar — her biri kendi içinde tutarlı, amaca yönelik ve indirgenemez biçimde karmaşık olacak şekilde kurgulanmıştır

### Hayat Ağacı Modelinin Sorgulanması

Filogenetik uyumsuzluklar, yetim genler ve UCA testinin döngüsel mantığı, tek bir hayat ağacı modelini ciddi biçimde sorgulatmaktadır

### Materyalist Açıklamaların Açmazları

Kombinatoryal problem, bekleme süresi problemi ve homokiralite çözümsüzlüğü materyalist açıklamaların temel açmazlarını oluşturmaktadır